

PROFESIONALIZACIÓN CIENTÍFICA Y DOCENTE: LA FORMACIÓN DE EXPERTOS

Necesidades de formación especializada en Agroingeniería aplicada a la Sanidad Vegetal

Santiago Planas de Martí, Jaume Arnó Satorra, Alexandre Escolà Agustí, Joan Masip Vilalta (Grupo de Investigación sobre Agricultura de Precisión, Agrótica y Agrotecnología. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Universitat de Lleida).

La Agroingeniería, en su concepción actual, incorpora el ámbito de la ingeniería de sistemas biológicos y constituye una amplia base sobre la que se apoya la I+D en sanidad vegetal y, particularmente, la defensa sanitaria de la producción y distribución de alimentos. La formación en estos ámbitos, con una visión transversal, es una necesidad ineludible, propia de las agriculturas más avanzadas, que requiere conocimientos y habilidades altamente especializados. Por ello, no cabe más alternativa que proveernos de un sistema capaz de responder a estos retos, a escala internacional, a riesgo de renunciar a los puestos de vanguardia científica y verse obligados a adoptar definitivamente una posición de total dependencia tecnológica.

La especialización es inherente a los retos científicos y tecnológicos actuales. Cuando se trata de avanzar en el conocimiento científico y proveer soluciones en entornos tecnológicos avanzados, la aproximación generalista es del todo insuficiente. Solamente los expertos son capaces de incorporar nuevos resultados beneficiosos para la ciencia y contribuir a resolver los déficits de la producción y el comercio mundial de alimentos.

Para alcanzar soluciones adecuadas a la dimensión y complejidad de los problemas actuales se requiere combinar disciplinas, integrando expertos de diferentes procedencias y con un perfil altamente colaborativo. Igualmente debe considerarse otra destacada característica de nuestro entorno: la permanente irrupción de un enorme flujo de avances a escala planetaria. La sanidad vegetal no escapa de ningún modo a estos condicionantes, debiendo conjuntar debidamente la especialización, la multidisciplinariedad y la vigilancia tecnológica.

La Agroingeniería participa en múltiples escenarios en los que colaboran especialistas de ámbitos diversos. Su carácter transversal se ha visto acrecentado, desde inicios del siglo XXI, al verse asociada a la Ingeniería de Sistemas Biológicos (*biosystems*). La reciente incorporación del vector *bio* en las sociedades científicas relacionadas con la Agroingeniería es un claro exponente de esta nueva visión. Este es el caso de la *American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE)* y el de la *European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng)*, cuyo órgano de difusión ha cambiado su cabecera "*Journal of Agricultural Engineering Research*" por la de "*Biosystems Engineering*".

Visión ampliada de la Agroingeniería ¿en qué consiste?

La Agroingeniería y la Ingeniería de Biosistemas abarcan varias disciplinas aplicadas a la ingeniería tales como la mecánica, la electricidad y electrónica, la química y la ingeniería civil, junto con la física aplicada. También incluyen

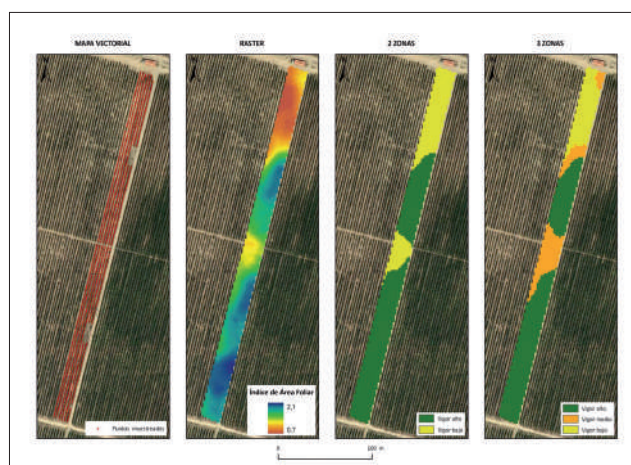


Figura 1. Mapas de vegetación generados a partir de datos de sensores LIDAR, incluyendo información sobre el LAI y el vigor del cultivo al objeto de establecer actuaciones con carácter selectivo o variable. La imagen corresponde a una parcela de viñedo en espaldera en Raïmat, Lleida (J. Arnó, 2011). LIDAR, incluyendo información sobre el LAI y el vigor del cultivo al objeto de establecer actuaciones con carácter selectivo o variable. La imagen corresponde a una parcela de viñedo en espaldera en Raïmat, Lleida (J. Arnó, 2011).

una parte de la bioingeniería aplicada a materiales biológicos, organismos y el medio ambiente. Se trata de un dominio particular de la ingeniería de sistemas, disciplina que aborda problemas de cierta complejidad, utilizando también recursos del *management* e incluso de las ciencias sociales.

Sobre estos fundamentos se asientan los sistemas actuales de gestión global de la agricultura, conformando una estructura de cuatro pilares principales de la Agroingeniería:



Agrometeorología	<p>Modelos de predicción de riesgo basados en datos de estaciones agroclimáticas automáticas en red</p> <ul style="list-style-type: none"> - CIMIS (precursor) - UC California Irrigation Management Information System [1]. - IPM on line. UC Integrated Pest Management Program. Modelos meteorológicos y grados día [2]. - ISIP – das Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion [3]. - RuralCat - Predicción de enfermedades (moteado, mildiu, stemphylium, ...) y plagas (carpocapsa, anarsia, grapholita, pandemis). Incluye alertas personalizadas mediante e-mail y SMS [4].
Detección, monitorización y toma de decisiones	<p>Empleo de sensores de detección (TV, IR, US, LIDAR) y posicionamiento (GPS)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificación y georeferenciación de adventicias malas hierbas (<i>weed seeker</i>) o enfermedades (<i>biosensor</i>). - Caracterización estructural de plantaciones frutales y viñedos [5]. - Mapeado por capas de información (<i>layers</i>): infestación, frondosidad, vigor (nutrientes, contenido hídrico).
Precisión y trazabilidad	<p>Aportación de nutrientes y agua</p> <p>Tratamientos selectivos. <i>Patchwork, variable rate, canopy density spraying</i>[6] [7] [8].</p> <p>Trazabilidad y certificación. Crono-georeferenciación, registro y gestión de la información.</p>
Aplicación de productos fitosanitarios y biopesticidas	<p>Productos fitosanitarios. Formulación, registro oficial, etiquetado, coadyuvantes, prescripción</p> <p>Física de la pulverización. Gotas y condiciones de entorno atmosférico.</p> <p>Eficiencia y calidad de la aplicación. Deposición sobre el objetivo & biovalidación.</p> <p>Ajuste de la dosis. Sistemas Dosafrut [9] [10], Dosaviña y Optidose.</p> <p>Futuros desarrollos. Vehículos autoguiados, robótica, tratamientos, poda, aclareo, fertilización y riego.</p>
Equipos de tratamientos	<p>Agricultura. Cultivos bajos, cultivos arbóreos, invernaderos, horticultura. Tratamientos aéreos.</p> <p>Otros espacios. Zonas verdes, zonas habitadas, vías de comunicación, líneas de ferrocarril.</p>
Prevención de efectos no deseados	<p>Contaminación de suelos y aguas, exposición del operador y de espectadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manejo de pesticidas, antes del tratamiento y durante la limpieza posterior de envases y equipos. - Aplicación, deriva, lixiviación, mapas de riesgo. Establecimiento de zonas de protección. <p>Residuos químicos sobre los productos agrícolas</p>
<p>[1] www.cimis.water.ca.gov/cimis</p> <p>[2] www.ipm.ucdavis.edu/WEATHER</p> <p>[3] www.isip.de</p> <p>[4] www.ruralcat.net/web/guest/agrometeo.plagues</p> <p>[5] Rosell JR, Sanz R (2012). A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. <i>Computers and Electronics in Agriculture</i>, 81, p.124-141.</p> <p>[6] Lund I, Jensen PK, Jacobsen NJ, Rydahl JT (2010) The Intelligent Sprayer Boom - a new generation of sprayers. <i>Conf. Int. Advances in Pesticide Application. Association of Applied Biologists.</i></p> <p>[7] Gil E, Escolà A, Rosell JR, Planas S, Val L (2007). Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. <i>Crop Protection</i> 26 (2007) 1287–1297.</p> <p>[8] Rosell JR, Sanz R, Llorens J, Arnó J, Escolà A, Ribes-Dasi M, Masip J, Camp F, Gracia F, Solanelles F, Pallejá T, Val L, Planas S, Gil E, Palacin J (2009). A tractor-mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: a comparison with conventional destructive measurements. <i>Biosystems Eng.</i> 102, 128–134.</p> <p>[9] www.dosafrut.es</p> <p>[10] Planas S, Camp F, Solanelles F, Sanz R, Escolà A, Rosell JR (2011). Bases tecnológicas del sistema de ajuste de dosis DOSAFRUT. <i>Phytoma España</i> 232:63-68.</p>	

Tabla 1. Áreas temáticas de la Agroingeniería directamente relacionadas con la Sanidad Vegetal.

1. Maquinaria, equipos e instalaciones
2. Agricultura de precisión (*precision farming*)
3. Instrumentos de gestión de la empresa agraria
4. Gestión de la información y comunicación, servicios agronómicos (*ICT-Agro*)

Desde este panorama amplio, a continuación identificamos los contenidos y habilidades mínimos relativos a la Agroingeniería que deberían estar al alcance de investigadores y especialistas en sanidad vegetal. Sirvan como ejemplo las actuales herramientas de gestión de la información en parcela, inherentes a la agricultura de precisión, entre las que destacan los mapas de zonas con diversas capas de información (**Figura 1**).

Las limitaciones de la relación convencional entre la Agroingeniería y la protección de cultivos

Tradicionalmente, en las escuelas de ingeniería agronómica españolas, la formación en Agroingeniería aplicada a la protección de cultivos se ha limitado al estudio de las máquinas de tratamientos fitosanitarios, formando parte del estudio del conjunto de las máquinas agrícolas. De esta forma, en contra de los principios de la ingeniería concurrente, integradora de procesos, esta formación ha estado alejada de la formación en manejo de plagas y enfermedades de los cultivos, integradas en la entomología agrícola y la patología vegetal, respectivamente.

La investigación ha mantenido la misma tendencia. En contadas ocasiones los equipos investigadores en protección de cultivos incorporan expertos en



Agroingeniería. Ello puede conducir en ocasiones, a resultados decepcionantes, particularmente cuando se trata de investigación traslacional. Citamos, p. ej., los avances alcanzados en pro de la eficiencia de los tratamientos mediante el empleo de dispositivos de control electrónico, pero que en contadas ocasiones son biovalidados a escala productiva. Igualmente, algunos métodos de control biológico pueden ofrecer excelente respuesta en laboratorio, pero son difícilmente aplicables en las condiciones en las que operan las explotaciones agrarias.

Esta visión segregada ha generado un espacio perjudicial entre expertos en aplicación de fitosanitarios y expertos en plagas y enfermedades de los cultivos. La tendencia se ha visto reflejada también en la administración pública donde tradicionalmente equipos de tratamiento, por un lado, y diagnóstico y productos fitosanitarios, por otro, han formado parte de unidades estructurales distintas y, a veces, distantes.

Esta situación explica que los ensayos previos al registro de nuevos productos fitosanitarios se continúen realizando con equipos de tratamientos que no son los propios de la aplicación a escala real. Las dosis indicadas en los envases acaban siendo ajustadas por los prescriptores y los propios agricultores. La práctica agrícola asume así los costes de la integración de las vertientes de la ingeniería y de la biología.

Tampoco se suelen considerar la relación existente entre la técnica de aplicación, de una parte, y la eficiencia de la aplicación, los riesgos ambientales y la exposición de los aplicadores, de otra. Un nuevo formulado es evaluado considerando que será aplicado únicamente empleando las técnicas de aplicación convencionales. De esta forma se ignoran las nuevas técnicas de aplicación más conservadoras y seguras. Este sería el caso, p. ej., del empleo de vehículos autónomos y dispositivos *target sensing* en el tratamiento de cultivos de invernadero. Probablemente, algunos productos en fase de inscripción en el registro oficial, verían acelerado el trámite si se tuvieran en cuenta estas circunstancias ventajosas.

Un cambio de paradigma

De un tiempo a esta parte se están produciendo cambios substanciales. La aproximación a los problemas es cada vez más multidisciplinar e integradora. Los especialistas se forman con una base conceptual que les permite inicialmente abordar globalmente los retos tecnológicos.

Ello se ve reflejado en los diseños curriculares innovadores en el ámbito de las Ciencias Ambientales y Agrarias y la Ingeniería de Sistemas Biológicos, donde la Agroingeniería está presente de forma destacada. En el caso de programas de formación o investigación en sanidad vegetal, la Agroingeniería aparece formando parte de materias relacionadas con la producción agrícola (*crop production*, horticultura, agronomía), la entomología agrícola, y la patología vegetal. Este es el caso, p.ej., de los programas de la UC Davis donde estos contenidos forman parte del programa de protección integrada de cultivos (*Integrated Pest Management – IPM*).

En universidades con un elevado grado de especialización en los grados y en los másteres, como es el caso de la Wageningen UR, la Agroingeniería aparece junto a la protección de cultivos tanto en la formación BSc en Agrotecnología, como en el MSc en Ingeniería Agrícola y Biorecursos (*Biosystems Engineering*).

Igualmente se ha producido una interesante aproximación en el panorama industrial. La Agrotecnología actúa también de nexo o de base común de las empresas de genética vegetal, productos fitosanitarios y maquinaria y equipos agrícolas de nueva generación. Es más, las empresas acaban integrando o compartiendo en sus líneas de negocio estos diferentes ámbitos. Las grandes



Figura 2. Monitorización de parámetros meteorológicos y del potencial contaminante (deriva) en el tratamiento de plantaciones intensivas de nectarino en Gimennells, Lleida (S. PLANAS, 2011).

compañías no son ajenas a esta situación, por lo menos en las fases iniciales, I+D, y progresivamente a lo largo de la *pipeline* hasta llegar a la empresa agraria.

Con todo lo dicho, es destacable la labor realizada por algunas empresas como Syngenta Agro y Bayer Crop Science al conformar en su entorno I+D un grupo *ad hoc* sobre aplicación de pesticidas. También los grandes constructores de máquinas de tratamientos se han aproximado a la industria química, generando espacios colaborativos muy innovadores. Sin duda, todos ellos han contribuido al cambio de cultura.

Las autoridades y la administración pública están realizando avances muy interesantes. Países como el Reino Unido, Holanda, Alemania, Dinamarca y Suecia, donde, p.ej., desde hace una década disponen de normativa sobre bandas de protección de espacios vulnerables, dimensionadas según las características del equipo de tratamiento utilizado y la peligrosidad del producto a aplicar. En nuestro país, nos encontramos aún en la fase experimental sobre la que se pretende fundamentar la reglamentación adaptada a los propios sistemas de producción (**Figura 2**).

Este nuevo panorama exige también la actualización de los programas formativos, ya sea de formación reglada, profesional o universitaria, o de formación complementaria de ampliación y actualización de conocimientos.

Un ejemplo de actuación puntera viene reflejado en el programa *Innovative technologies from DNA to spray* de la Wageningen UR www.pri.wur.nl/UK/research/research+themes/cropprotection/endure/default.htm. Se trata de un potente proyecto multidisciplinar que pretende diseñar un sistema de alerta automática de cada evento que suponga un riesgo potencial sanitario en los cultivos. Realizada la alerta, se cuantifica el riesgo y se facilita la toma de decisiones. Si finalmente se requiere alguna actuación, se utiliza un equipo de tratamientos capaz de aplicar pequeñas cantidades de producto fitosanitario, solamente donde este es requerido, con la garantía de que se ejerce el nivel de control deseado.

Todo ello ha configurado un amplio panorama de conocimientos y líneas de investigación asociadas a la sanidad vegetal. En la **Tabla 1** se relacionan las áreas temáticas vigentes, de interés para los investigadores y profesionales dedicados a la protección de cultivos, incluyendo la sanidad y seguridad de los productos agrícolas, desde la parcela hasta su almacenamiento o transformación industrial.



El máster de Protección Integrada de Cultivos (PIC)

El máster PIC, coordinado por la Universitat de Lleida es un excelente ejemplo de esta nueva visión integradora, de interés tanto para la formación de investigadores como de futuros profesionales de la sanidad vegetal. Su programa docente incluye contenidos de la Agroingeniería, particularmente los relativos a los medios y equipos de protección de cultivos.

Este programa máster constituye, a nuestro criterio, una base de partida para la generación de un programa de formación especializada en España para proveer expertos en sanidad vegetal, destinados a la investigación pública y privada y la práctica profesional como asesores, prescriptores y responsables de la administración pública. Entre otros colectivos, esta formación deberá atender las crecientes necesidades de formación y de actualización de expertos, asesores externos (*outsourcing*) de medianas y grandes empresas agrarias, de agrupaciones de productores, de empresas de distribución y de entidades de certificación.

Finalmente, subrayamos la necesidad de que la formación debe preparar a los expertos a trabajar en un entorno global. La internacionalización es un hecho a todos los niveles. Se trata de incorporar alumnos y docentes extranjeros y, a su vez, preparar a nuestros alumnos para trabajar en otros países, compitiendo con expertos formados en universidades con mayor experiencia en estrategias de internacionalización.

Para ser eficaces, deberemos identificar nuestras fortalezas, probablemente ubicadas en la protección de cultivos hortícolas, frutícolas y la viticultura, sin descuidar nuestras relevantes aportaciones en las producciones extensivas. También debemos priorizar los esfuerzos en las regiones en las que podemos ejercer mayor influencia, posiblemente América Latina y la cuenca del Mediterráneo.

La formación de expertos en la Directiva 2009/128/CE

En noviembre de 2002 se celebró en Bruselas la *Stakeholders conference on the Development of a Thematic Strategy on the Sustainable Use of Pesticides*. Fue en este evento donde se fijaron las bases de la Directiva 2009/128/CE por la que se establece el marco de la actuación comunitaria para conseguir un uso sostenible de los plaguicidas.

Esta importante disposición legal, fraguada pues en siete años, establece una estrategia global para el empleo de los productos fitosanitarios. Antes de finalizar el año 2013, los estados miembros deben adoptar planes de acción nacional de reducción de riesgos de la utilización de productos fitosanitarios. Entre otras obligaciones, en el artículo 5 de la directiva, se establecen los principales criterios de la formación que deberá implementarse, destinada a "usuarios profesionales, distribuidores y asesores", que deberá ser "impartida por entidades designadas por las autoridades competentes" y que incluirá "tanto la formación inicial como la complementaria, a fin de adquirir y actualizar conocimientos, según proceda".

Las materias de dichos programas deben incluir aspectos tales como la legislación sobre productos fitosanitarios, los riesgos asociados a su empleo, la gestión integrada de plagas, las medidas de prevención de riesgos y las técnicas de aplicación de productos fitosanitarios. Como nos encontramos en un entorno altamente innovador, los planes de formación deben incluir conocimientos de base y su ampliación o actualización periódica.

Por ello es, cuanto menos, cuestionable que el RD 1702/2011 de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios permita eludir la formación establecida para los agentes de las inspecciones a quienes dispongan de "titulación universitaria de grado o de formación profesional de

grado superior que incluya en sus programas de estudios, materias relativas a la sanidad vegetal, a la producción agraria o a la fabricación y caracterización de maquinaria". También es criticable que esta formación pueda ser impartida indistintamente por "departamentos de universidades especializados en mecanización agraria, otras unidades de la administración autonómica o Centros de Innovación y Tecnología" (sic).

Conclusiones

Queda argumentada la necesidad de incorporar contenidos de la Agroingeniería en la formación de investigadores y expertos en sanidad vegetal, expresamente la referida al ámbito de la protección de cultivos. Esta contribución debe realizarse bajo los principios integradores de la ingeniería concurrente y con una visión global de los procesos.

Se trata pues de utilizar el carácter transversal de la Agroingeniería para que aparezca asociada a la entomología, la patología y la malherbología, aportando nuevos conocimientos y habilidades avanzadas, tales como la utilización de sensores y la gestión global de la información en los sistemas automáticos de soporte a la toma de decisiones.

En cualquier caso, se hace imprescindible trabajar con todo rigor en el proceso de adopción de la Directiva 2009/128/CE y, a su vez, contribuir eficazmente a dar respuesta a las necesidades de la producción y distribución mundial de alimentos.

Abstract: Agro-engineering in its current form includes the area of biological systems engineering and constitutes a broad base supporting R+D in plant health and, particularly, sanitary protection in food production and distribution. Training in these areas, with a transverse approach, is an unavoidable need, typical of the most advanced agriculture, which requires highly specialised knowledge and skills. There is therefore no option but to equip ourselves with a system able to respond to these challenges in the international scope, or risk losing our place at the cutting edge of scientific progress and definitively adopting a position of total dependence on technology.